

HENRYK JANICKI

*Wyższa Szkoła Rolnicza — Olsztyn Instytut Chemizacji Rolnictwa*ROZWAŻANIA NAD MOŻLIWOCIĄ ZASTOSOWANIA
KRZEMIANU WAPNIOWEGO W CELU PODNIESIENIA
ŻYZNOŚCI KWAŚNYCH GLEB LEKKICH

Większość gleb użytkowanych przez polskie rolnictwo, to gleby piaszczyste, lekkie, mocno i średnio zakwaszone. Gleby te scharakteryzowane przez Musierowicza (21) z powodu swych licznych wad uniemożliwiają uzyskiwanie na nich wysokich plonów, a więc wykonanie zasadniczego zadania stawianego współczesnemu rolnictwu. Ze względu na małą zawartość koloidów glebowych posiadają niekorzystne własności fizyczne, chemiczne i biologiczne, mają niewielki kompleks sorpcyjny, rzadko przekraczający 5 mgrówn./100 g gleby, a więc słabe własności sorpcyjne i buforujące; nie duża jest też zawartość procentowa próchnicy często w dużym stopniu wysyczonej jonami H^+ . Wskutek wysokiej przewodności i przepuszczalności zachodzi w nich zbyt szybka mineralizacja substancji organicznych i żywiolowo zmieniają się stosunki wodne. Gleby takie zajmują ponad 50% powierzchni kraju.

Sytuację pogarsza fakt, że na całym obszarze Polski ilość wody pochodzącej z opadów jest większa od ilości parującej z powierzchni gleby i transpirowanej przez rośliny. Powoduje to ciągłe bielcowanie gleb, a więc wymywanie próchnicy, cząstek koloidalnych i kationów zasadowych z kompleksu sorpcyjnego. Efektem tego jest przyrost gleb o odczynie bardzo i średnio kwaśnym, które to gleby zajmują w Polsce wg Boguszewskiego (3) około 85% powierzchni wszystkich użytków rolnych. Wzrastające zakwaszenie gleb powoduje pogarszanie się szeregu ich właściwości i ostatecznie prowadzi do obniżki plonów, czy nawet ich zaniku, co m. innymi stwierdził Niklewski (22), który na glebie o pH około 4,0 (przy zawartości wolnych jonów $Al^{+++} = 6-8$ mg/100 g gleby) zauważył wymieranie młodych roślinek i choroby starszych.

Wymienione, wybitnie niekorzystnie fizycznie, chemicznie i biologiczne cechy większości polskich gleb są przyczyną podjęcia szeregu prac, które różnymi drogami zmierzały do zwiększenia żyzności. Wysoki procent gleb o stosunkowo małej przydatności dla rolnictwa, ma swoje przyczyny i w przeszłości geologicznej (działalność lodowców) i w warunkach klimatycznych i w poziomie kultury rolnej, która ustępuje jeszcze po-

ziomem dobrze rozwiniętym rolniczo krajom, gdzie przejścia z gospodarki ekstensywnej na intensywną dokonano o wiele dziesiątków lat wcześniej.

W pierwszym okresie badań nad polepszeniem żyzności próbowano osiągnąć poprawę poprzez wprowadzenie do gleby jednego rodzaju substancji, np. obornika, torfu czy gliny. Prace takie dawały na ogół efekty niewielkie, a poprawa zachodziła w stosunkowo długim okresie czasu.

Wprowadzenie do piaszczystych, dobrze przewietrzanych, bardzo czynnych i kwaśnych gleb samej substancji organicznej (obornik, kompost lub próchnica) powodowało bardzo szybką jej mineralizację i duże straty węgla organicznego i azotu ogólnego. Osiągano na tej drodze pewną poprawę struktury i stosunków wodnych, kosztem jednak strat masy organicznej, dochodzących np. w badaniach Giedrojcia (6) do 90%. W przypadku wprowadzenia do gleby masy zielonej chwastów i ścierni zauważył on, że po niewielkim, okresowym wzroście zawartości węgla organicznego, zwiększyła się kwasowość i nastąpiło przemieszczenie rozdrobnionych składników organicznych w głąb gleby.

Wprowadzenie dużych ilości nawozów mineralnych powoduje zwiększenie plonów, jednak po przekroczeniu pewnej wartości dawki nawozowej dalsze nawożenie powoduje ich obniżenie. Dla gleb bogatszych, jak to podaje Świętochowski (29) graniczna wartość dawki nawozowej jest o wiele wyższa, wyższe są więc i plony, które można na nich uzyskać. Łakomiec (17) i McLeod (18) stwierdzają, że gleby piaszczyste, o małym kompleksie sorpcyjnym, nie są w stanie zaadsorbować wszystkich składników nawozowych, w wypadku wprowadzenia do gleby większej dawki. Powoduje to wzrost stężenia roztworu glebowego, w wyniku czego mogą ulec uszkodzeniu korzenie roślin, oraz zachodzi intensywne wymywanie składników nawozowych w głąb gleby. Wobec tendencji do zwiększania dawek nawozowych należy pamiętać o ujemnych tego skutkach, oraz o tym, że każda kolejna złotówka inwestowana w postaci nawozu przynosi coraz mniejszy zysk. Poprawę tego można uzyskać poprzez wzbogacenie kompleksu sorpcyjnego piaszczystych ubogich gleb.

W literaturze spotkać można opisy szeregu prac, w których znajdują się dane dotyczące poprawy gleb, przez wprowadzenie do nich materiałów drobnoziarnistych, a więc o dużych właściwościach sorpcyjnych. Świętochowski (29), Birecki (1), Giedrojć (8) zabieg taki łączyli z wapnowaniem, poprzez marglowanie lub przez wprowadzenie wapienia, posiadającego domieszki minerałów o dużych zdolnościach sorpcyjnych. Schroeder (29) po zbadaniu wpływu niewęglanowych domieszek zawartych w naturalnych wapieniach używanych do wapnowania podkreślił, że gleby piaszczyste, ubogie reagują bardzo wyraźnie wzrostem żyzności pod wpływem nawet niewielkich dodatków nośników sorpcji. Wielu badaczy,

a wśród nich Birecki (1), Giedrojć (7, 8), Trzecki (29) wprowadzało do gleby ility, gliny lub drobnoziarniste odpady przemysłowe dla wzbogacenia kompleksu sorpcyjnego we frakcje drobnoziarniste. Zabiegi takie dawały wyraźnie pozytywne rezultaty w przypadku stosowania dużych dawek, dochodzących do kilkudziesięciu ton/ha. Trudno wzajemnie porównywać uzyskane wyniki, gdyż w większości prac brak bliższej fizyko-chemicznej charakterystyki wprowadzanych do gleb substancji, ale we wszystkich tego rodzaju doświadczeniach stwierdzono powiększenie kompleksu sorpcyjnego, poprawę stosunków wodnych, zmniejszenie przepuszczalności, wyraźne polepszenie struktury, a więc tym samym poprawę warunków umożliwiających wzbogacenie gleby w próchnicę. Giedrojć (7), który oprócz obornika dodawał do gleby piaszczystej margle zauważył zmniejszenie strat węgla organicznego i azotu ogólnego o kilkanaście, a w niektórych przypadkach o 50%. Przyczyną tego jest zmniejszenie tempa rozkładu obornika po dodaniu margli, a szczególnie iłów. Podobne wyniki dały badania Kotera (12), który stwierdził obniżenie strat azotu i potasu w oborniku o blisko 50% po zmieszaniu go z gliną (10% masy obornika) oraz istotne zwwyżki plonów po wprowadzeniu do gleby omawianej mieszanki.

Wynikiem nawożenia mieszaninami mineralno-organicznymi (wapień, margle, gliny, ility — obornik, kompost, torf) była oprócz wymienionych już pozytywnych zmian, poprawa warunków biologicznych, korzystny rozwój mikroorganizmów, w tym także zwiększających zawartość w glebie azotu i przyswajalność fosforu. Kobus (12) i Minienko (19) zajmujący się tym zagadnieniem stwierdzają, że poprawa biologiczna była tym większa i pełniejsza, im bardziej wszechstronnie oddziaływały stosowane mieszanki. Osobne wprowadzania wapna, substancji ilastych, nawozów mineralnych lub organicznych powodowało najczęściej tylko niewielkie zmiany.

Dynamiczny w ostatnich latach rozwój kopalnictwa w Polsce i wraz z tym zwiększone wydobycie minerałów ilastych, stanowiących odpad, a ilością przekraczających kilkakrotnie masę właściwych kopalin, postawił przed rolnictwem ewentualność ich wykorzystania, głównie dla poprawy struktury właściwości fizycznych gleb piaszczystych. Odpady kopalniane nie zawierają dużych ilości makroelementów, mikroelementy natomiast znajdują się w nich w ilościach dość znacznych. Główna przydatność odpadów dla rolnictwa polega na pozytywnym ich oddziaływaniu na glebę, na zwiększaniu jej pojemności w stosunku do wody i nawozów oraz na wiązaniu luźnych ziarn piasku dzięki zawartości minerałów ilastych i krzemionki („koloidalnej”).

Kilkuletnie badania polowe Krauze (15) (stosowane dawki kilkadziesiąt ton/ha) wykazały korzystne oddziaływanie odpadów kopalnianych

na glebę i plony. Stwierdzono zwiększenie zawartości przyswajalnego, fosforu, a w niektórych przypadkach i potasu, większą zdolność magazynowania wody i składników nawozowych, a także poprawę niektórych właściwości fizyko-chemicznych. Najlepsze wyniki dawało stosowanie krzemionki „koloidalnej”, neutralizowanej mączką fosforytową. Zauważono jednak, że poprawa właściwości gleby nie jest trwała i zależy od warunków klimatycznych i zabiegów agrochemicznych.

Wstępne badania laboratoryjne Nowackiego (23) z krzemionką „koloidalną” wykazały jej nadzwyczaj pozytywne oddziaływanie na gleby piaszczyste. Dodatek krzemionki w ilości 1,5% do gleby powodował zmniejszenie prędkości przepływu wody (kilkanaście razy), zmniejszenie parowania i wypłukiwania składników nawozowych. Okazało się również, że krzemionka stanowi dobre lepiszcze dla gleb piaszczystych, że jest dobrym sorbentem i stwarza odpowiednie środowisko dla rozwoju pożytecznych mikroorganizmów.

Doświadczenia Zawartki (33) z ziemią krzemionkową, dodawaną do piasku słabo gliniastego, pozwoliły stwierdzić znaczne zmniejszenie wypłukiwania potasu.

Do substancji wpływających korzystnie na właściwości fizyko-chemiczne i biologiczne gleby oraz na plony zalicza się żuźle hutnicze, które jak podaje Bukowski (4) stanowią bardzo skomplikowany, słabo poznany zespół minerałów, jakościowo i ilościowo zmienny w szerokich granicach. W żuźlach znajduje się szereg różnych połączeń, głównie między tlenkami wapnia, magnezu, krzemu i glinu. Pozytywne oddziaływanie żuźli hutniczych zauważono już przeszło 100 lat temu i od tego czasu wykonano cały szereg prac, w których stwierdzono neutralizujące działanie wapna, korzystne oddziaływanie związków krzemu na fizyko-chemiczne cechy gleb, szczególnie lekkich, oraz na ilościową i jakościową poprawę plonów. Wykazały to między innymi prace Kotera (13), zawierające obszerne zestawienie wyników własnych i uzyskanych przez innych badaczy.

Konkretne wyniki uzależnione są od szeregu warunków, głównie od wielkości dawki, rodzaju i stopnia rozdrobnienia żuźla, od pH początkowego gleby i innych. Prace z ostatnich lat potwierdzają znane już dawniej spostrzeżenia stwierdzające, że agrochemiczne oddziaływanie żuźli jest podobne do oddziaływania wapieni, a Pfaff (27) podaje, że czasem stosowanie żuźli daje nawet lepsze rezultaty. Korzystne oddziaływanie żuźli jest związane między innymi z obecnością w nich wapna, którego wprowadzenie do gleb piaszczystych, zakwaszonych powoduje szereg bardzo pożądaných przez rolników zmian. Dzięki działaniu neutralizującemu maleje stężenie trujących przy wyższych koncentracjach, wolnych jonów Al^{+++} i Fe^{++} , zwiększa się procent przyswajalnego fosforu, wią-

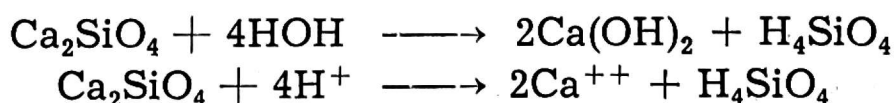
zanego przy niższych wartościach pH przez wspomniane jony w formy trudno rozpuszczalne. Ilustrują to doświadczenia McLeod'a, (18) który oprócz tego podaje, że wprowadzanie nawozów mineralnych do kwaśnej, piaszczystej gleby bez jej zwapnowania spowodowało wyraźny wzrost stężenia jonów Al^{+++} w roztworze glebowym. Wapnowanie poprawia też warunki rozwoju mikroorganizmów oraz zmniejsza wymywanie próchnicy dzięki temu, że tworzy ona z jonami Ca^{++} słabo rozpuszczalne związki, cementujące gruzełki, co poprawia fizyczne własności gleb. Doświadczenia Mocika (19) wykazały, że ze wzrostem pH rośnie też ilość wiązanych przez glebę kationów.

Zestawienie przedstawionych prac prowadzi do wniosku, podkreślonego przez Bireckiego (2), że optymalny i ekonomicznie uzasadniony wzrost żyzności rozpatrywanych gleb może być uzyskany w wyniku działania kompleksowego, dla poprawy warunków fizycznych i chemicznych gleb, przy jednoczesnym zwolnieniu procesów rozkładu substancji organicznych.

Wymaga to kompleksowych badań gleboznawczych fizyko-chemicznych i chemiczno-rolniczych. Poznanie mechanizmu i kinetyki przemian substancji wprowadzonych do gleby dla poprawy jej właściwości pozwoli na dobór warunków optymalnych, od których zależy wzrost żyzności gleby.

Porównanie wyników opisanych doświadczeń, w których starano się zwiększyć kompleks sorpcyjny przez wprowadzenie do gleby drobnoziarnistych, sorbujących materiałów oraz na podstawie fizykochemii krzemianu wapniowego i żelów krzemionkowych, będących produktem jego rozkładu, można przypuszczać, że krzemian wapniowy powinien istotnie wpływać na poprawę żyzności gleby. Wprowadzony do gleby w postaci proszku powinien oddziaływać podobnie jak drobnoziarniste materiały, ale główna jego zaleta polega na tym, że i kation i anion wykazuje pozytywne oddziaływanie na glebę lekką i kwaśną.

Krzemian wapniowy w środowisku kwaśnym ulega przemianom, które schematycznie można przedstawić reakcjami:



Cząsteczki kwasu krzemowego łączą się ze sobą, dając żel krzemowy badany między innymi przez Eitla (5) oraz Ilera (9). Świeżo wytrącony żel ma duże właściwości sorpcyjne. W szczególnie sprzyjających warunkach jednostka masy żelu może wchłonąć około 100 jednostek masy wody. Właściwości te ulegają czasem zmniejszeniu, w miarę jak postępuje agregacja — „starzenie” żelu, ale proces ten zachodzi stosunkowo wolno, a nawet powietrznie suchy żel (krzemionka „koloidalna”) ma znaczne

właściwości sorpcyjne, co jest przyczyną stosowania jego jako środka sorbującego (silikażel). Dobre oddziaływanie ogrochemiczne takiego żelu wykazały wstępne badania laboratoryjne Nowackiego (27) oraz polowe Krauze (15).

Duże nadzieje można wiązać z uwodnionym, świeżo strąconym w glebie żelem, który ma właściwości sorpcyjne znacznie większe, niż krzemionka otrzymana po jego odwodnieniu. Taki żel najprawdopodobniej nie znajdował się w glebie (w większych ilościach) podczas przeprowadzonych już doświadczeń, stąd przypuszczenie, że skoro się go w postaci świeżo strąconej użyje i uda się go w takiej formie dostatecznie długo zachować, poprawa kompleksu sorpcyjnego będzie większa, niż po doświadczeniach, w których krzemionka była użyta w postaci częściowo odwodnionej. Stosowanie wówczas zwiększonego nawożenia nie będzie połączone z silnym wymywaniem składników nawozowych.

Produkty rozkładu krzemianu wapniowego — różne postacie żelu krzemionkowego, przy użyciu krzemianu wapniowego, znajdowałyby się w glebie w stosunkowo dużym stężeniu. Ze względu na ich dość znaczną trwałość i właściwości sorpcyjne, pełniłyby przez pewien czas rolę sita o małych oczkach ograniczającego wymywanie wprowadzanych składników nawozowych. W oparciu o takie „sito” można by rozpocząć wzbogacanie mineralno-organicznego kompleksu sorpcyjnego.

Działanie krzemianu wapniowego jest jakościowo podobne do działania żużli hutniczych, z tym że krzemian powinien oddziaływać na głębiej, ze względu na wyższe zdolności sorpcyjne produktów jego rozkładu i niewielką zawartość tlenków Al_2O_3 i Fe_2O_3 (w produkcie technicznym). Tlenki Al_2O_3 i Fe_2O_3 istotnie zmniejszają pozytywne działanie krzemianu wapniowego, co wykazały przeprowadzone w Japonii (24) badania nad wpływem na plony ryżu mieszanin nawozowych z krzemianami wapnia i magnezu, zawierającymi różny % Al_2O_3 . Oddziaływanie krzemianu wapniowego można też w przybliżeniu rozpatrywać jako działanie sumaryczne węglanu wapniowego i materiałów drobnoziarnistych, a w szczególności krzemionki „koloidalnej”, a więc jako połączenie pozytywnego wpływu wapna i działania strukturotwórczego „koloidalnej” krzemionki. To ostatnie można przewidywać na podstawie pracy Kaczyńskiego (10), który wyróżnia 4 rodzaje strukturotwórczej agregacji w glebie: elektryczną, fizyczną, chemiczną i biologiczną. Wszystkie te 4 rodzaje agregacji powinny występować w następstwie użycia krzemianu wapniowego.

Doświadczenia z krzemianem wapniowym mogą wzbogacić wiedzę o przemianach zachodzących w glebie i udzielić wskazówek dotyczących kierowania procesami poprawy żyzności, oraz dodatkowo pozwolą wyjaś-

nić jego rolę, jaką odgrywa on, będąc składnikiem stosowanego obecnie nawozu — supertomasyny. Dodatkową korzyścią stosowania krzemianu wapniowego jest dostarczenie roślinom krzemu w przyswajalnej postaci. W pracy rozpatrującej fizjologiczne znaczenie krzemu Lewen (16) stwierdza, że pierwiastek ten jest potrzebny dla zdrowego rozwoju wielu roślin, a może być traktowany jako podstawowy element dla roślin o wysokiej zawartości krzemu (np. trawiaste — $2\div 4\%$ SiO_2 w s.m.).

Krzemian wapniowy jest potencjalnym produktem odpadowym przemysłu chemicznego. Znalezienie zastosowania dla niego decyduje w pewnym stopniu o wprowadzeniu do przemysłu niektórych technologii (11, 25, 26), w tym także dotyczących przerobu krajowych złóż tufów, zawierających potas, na wolno działające nawozy potasowe (31, 32). W przypadku stwierdzenia agrochemicznej przydatności krzemianu wapniowego nie wykluczona jest w przyszłości możliwość jego produkcji z ogromnych, obecnie bezużytecznych i szkodliwych dla otoczenia, a rosnących z roku na rok ilości związków wapniowych, stanowiących odpady przemysłu chemicznego.

Przedstawione powyżej rozważania mogą być rozpatrywane jako wstępna hipoteza, dotycząca agrochemicznego wpływu krzemianu wapniowego na gleby lekkie, piaszczyste i kwaśne.

W sytuacji, kiedy zagadnienie zwiększenia żyzności ubogich gleb jest w rolnictwie polskim jednym z ważniejszych, wydaje się uzasadnione, w oparciu o przedstawione dane, rozpoczęcie fizyko-chemicznych, gleboznawczych i chemiczno-rolniczych badań nad możliwością poprawy żyzności gleb za pomocą krzemianu wapniowego.

LITERATURA

1. Birecki M. — O metodach podniesienia żyzności gleb lekkich. Zesz. Probl. N. Polsk., VI, (1956), s. 81
2. Birecki M. — Niektóre zagadnienia uprawy roli i nawożenia na glebach lekkich. Zesz. Probl. Post. N. Roln., 50a, (1964), s. 5
3. Boguszewski W., Kac-Kacas M. — Wapnowanie gleb. Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa, W-wa, (1966)
4. Bukowski B. — Budownictwo betonowe. t. 1, Arkady W-wa (1963)
5. Eitel W. — The Physical Chemistry of the Silicates. The University of Chicago Press 1954 Chicago
6. Giedrojć B. — Przemiany substancji organicznej w glebie piaszczystej. Roczn. Glebozn. t XV, (1965), s. 65
7. Giedrojć B. — Wpływ marglowania i ilowania na dynamikę węgla organicznego i azotu ogólnego w glebie lekkiej, piaszczystej. Zesz. Probl. Post. N. Roln., 50b, (1964), s. 315
8. Giedrojć B., Kowaliński S. — Wpływ agromelioracyjnych zabiegów na właściwości wodne ornej warstwy gleby piaszczystej. Zesz. Probl. Post. N. Roln., 77b, (1968), s. 119

9. Iler R. K. — Colloid Chemistry of Silica and Silicates. *J. Phys. Chem.* 56, (1952), s. 680
10. Kaczyński N. A. — Istota powstawania struktury w glebach i próba sztucznego jej tworzenia za pomocą związków polimerycznych. *Roczn. Glebozn.* t. XII, (1962), s. 79
11. Kobierski M. — Hydrotermalny rozkład surowców ilastych w środowisku alkalicznym. Praca doktorska, Politechnika Gdańska (1970)
12. Kobus J., Pacewiczowa T. — Wpływ minerałów ilastych na czynność biologiczną gleb lekkich. *Roczn. Glebozn.* t. XVI (1966), s. 53
13. Koter M. — Studia nad wapnem wielkopieczowym. *Roczn. N. Roln.*, 53, (3), (1949), s. 426
14. Koter M., Mazur T. — Wartość nawozowa obornika przechowywanego z dodatkiem gliny we wpływie następczym. *Zesz. Probl. Post. N. Roln.*, 50b, (1964), s. 255
15. Krauze A. — Sprawozdanie z prac wykonanych w Katedrze Chemii Rolnej WSR — Olsztyn. Praca w przygotowaniu do druku
16. Lewen J., Reimann B. E. F. — Silicon and growth of plants. *Annual Review of Plant Physiology.* 20, (1969)
17. Łakomic J. — Kompleks sorpcyjny gleb wytworzonych z piasków a intensywne nawożenie. *Nowe Rolnictwo*, 16, (1968), s. 3
18. McLeod L. B., Jackson L. P. — Water soluble and exchange aluminium O in acid soil as affected by liming and fertilization. *Canad. J. Soil Sci.* 47, (3), (1967), s. 203
19. Minienko A. K. — Wlijanie izwiesti i systematiczskowo primjenienia organiczeskich i mineralnych udobrenij na biologiczeskiju aktiwnost dierniowo-podzolistoj poczwy. *Agrochimija*, 8, (1968), s. 118.
20. Mocik A. — Prisperok k problemu nasycowania zemi wyzuennymi kationmi w zavislosti od pH nasycowaciecho elektrolitu. *Polnohospodarstwo*, 13, (10), (1967), s. 744
21. Musierowicz A. — Gleby lekkie Polski. *Zesz. Probl. N. Polsk.*, 6, (1956), s. 53
22. Niklewski M., Twarog J., Krzywy E. — Rola wapna w aktualnej gospodarce nawozowej. *Nowe Rolnictwo*, 20, (1967), s. 22
23. Nowacki J. — Kierunki kompleksowego wykorzystania ilów turosszowskich, konińskich oraz odpadów produkcji tlenku i siarczanu glinu metodą kwaśną. *Zeszyty specjalne (Wrocław)* 35, (1968), s. 17.
24. Patent japoński 16966 (1960) — Process for chemical fertilizer Containing Silicic Substance.
25. Patent polski 46773 (1962) — Sposób otrzymywania nawozów potasowo-fosforowych.
26. Patent polski 55954 (1969) — Sposób otrzymywania tlenku glinu i krzemianu wapnia.
27. Pfaff C. — Düngewirkung von Hüttenkalk. *Landwirtsch. Forschung.* 18 (3—4), (1965), s. 208
28. Schroeder D. — Über die nichtkarbonatischen Bestandteile von Weissjurakalken. *Zeitschr. Pflanzen., Düng, Bodenkunde*, 5t, (102), (1952), s. 215
29. Świętochowski B. — Kierunki kompleksowych prac badawczych na glebach lekkich nad gospodarką wodną i próchniczą na najbliższą przyszłość w Polsce. *Zesz. Probl. Post. N. Roln.* 77a., (1968), s. 7

30. Trzecki S. — Wpływ dodatku minerałów ilastych, lub organicznych do utworów piaszczystych na zdolność zatrzymywania wody. Zesz. Probl. Post. N. Roln. 77b, (1968), s. 109
31. Wiewiórowski E. — Hydrotermalny rozkład tufów wulkanicznych okręgu krakowskiego w środowisku alkalicznym. Praca doktorska. Politechnika Gdańska (1963)
32. Wiewiórowski E. — Otrzymywanie powoli działającego nawozu potasowego na drodze hydrotermalnego rozkładu tufu wulkanicznego w reakcji z wodorotlenkiem potasu. I. Przebieg rozkładu samidynu. Chemia stosowana 13 (2A), (1969), s. 131
33. Zawartka L. — Wymywanie potasu i siarki siarczanowej z różnych gleb brunatnych. Praca doktorska, WSR — Olsztyn (1970)